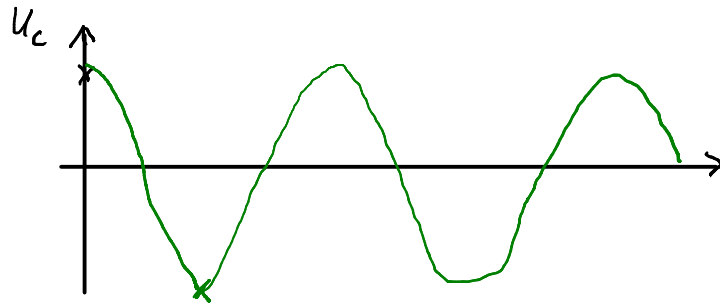
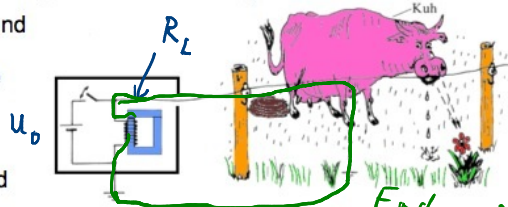


Man schalte von 1 nach 2:  
Was passiert bei Schalterstellung 2?  
Skizziere den  $U_c(t)$ -Graphen!



**Selbstinduktion** Im Unterricht haben Sie einen Elektroschocker kennengelernt, dessen Elektroschocks schmerzhaft, aber offensichtlich nicht lebensgefährlich waren. Im Prinzip funktionieren auch Zündspulen und Weidezaungeräte auf diese Weise.

1.1. Die nebenstehende Skizze zeigt Ihnen die Prinzipschaltung (und Wirkung) der "Induktions-Elektrozaun-Schaltung". Der eingezeichnete Schalter wird durch eine hier nicht aufgeführte elektronische Schaltung etwa alle zwei Sekunden einmal geschlossen und geöffnet. Erklären Sie genau, was in der Schaltung vor sich geht, und erläutern Sie, warum der angeschlossene, isoliert aufgespannte Drahtzaun bei Vieh und Mensch gefürchtet ist.



Einschalten:

Strom fließt verzögert durch Spule,  $I_{max} = \frac{U_0}{R_L}$

Öffnen:

Strom durch Spule geht auf 0 in kurzer Zeit  $\Delta t$

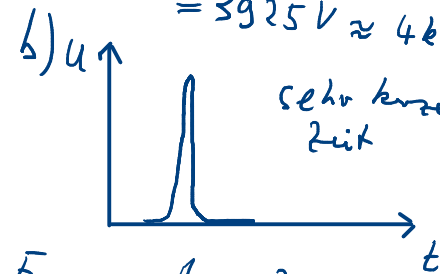
$\Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t}$  sehr groß

$$\Rightarrow U_{ind} = -L \dot{I}$$

$$= -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

1.2.  $= \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n^2}{l} \cdot A \cdot \frac{0,5A}{0,005}$

$$= 3925V \approx 4kV$$



c)  $E_{mag} = \frac{1}{2} L I^2 = 1J$

1J ist lächerlich wenig

z. B. Hubarbeit 100g, 1m

$$W_H = m \cdot g \cdot h = 1J$$

1.2. Für das im Unterricht durchgeführte Elektroschocker-Experiment werden folgende Annahmen gemacht:

- Permeabilitätszahl des Eisens: 1000
- Windungszahl: 500
- Länge x Breite x Höhe der Spule: 0,1 m x 0,05 m x 0,05 m
- Stromstärke vor dem Ausschalten: 0,5 A
- Schaltzeit: 1 ms (= Dauer des Ausschaltvorgangs)

a) Berechnen Sie die erlittene Spannung.

b) Begründen Sie, warum Sie das Experiment trotzdem – hoffentlich – schadlos überstanden haben und Ihr Physiklehrer nicht inhaftiert wurde.

c) Berechnen Sie die magnetische Energie und kommentieren Sie das Ergebnis physikalisch. (siehe Formelsammlung)

1.3. Nun wird die Batterie ersetzt durch eine Spannungsquelle, die einen zeitlich veränderlichen Strom der Stärke

a)  $I(t) = 2 \cdot t^3 \text{ A/s}^3$  ( $t$  in Sekunde; Ampere/Sekunde<sup>3</sup>, weil am Ende als Einheit A herauskommen muss)

b)  $I(t) = 3A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{3s} \cdot t\right)$  ( $t$  in Sekunde)

erzeugt. Berechnen Sie jeweils die Spannung nach 1,5 s.

1.3. a)  $\dot{I} = 6t^2 \frac{A}{s^3} \Rightarrow U_{ind} = -L \dot{I} = -106V$

b)  $\dot{I} = 3A \cdot \frac{2\pi}{3s} \cos\left(\frac{2\pi}{3s} \cdot t\right) \Rightarrow U_{ind} = -L \cdot \dot{I} = 49V$

**Induktion** 1831 entdeckte Michael Faraday das Phänomen der elektromagnetischen Induktion bei seinem Bemühen, die Funktionsweise eines Elektromagneten („elektrischer Strom erzeugt ein Magnetfeld“) umzukehren („Magnetfeld erzeugt Strom“). Zur Erklärung des Phänomens gibt es zwei alternative Modelle: auf der Grundlage der Lorentzkraft auf bewegte Ladungen oder mit Hilfe der Änderung des magnetischen Flusses.

Im Inneren einer langgestreckten, zylinderförmigen Feldspule ( $l_F = 500 \text{ mm}$ ,  $n_F = 2000$ ,  $A_F = 40,0 \text{ cm}^2$ ) befindet sich eine Induktionsspule ( $l_{\text{ind}} = 200 \text{ mm}$ ,  $n_{\text{ind}} = 300$ ,  $A_{\text{ind}} = 30,25 \text{ cm}^2$ ), deren Enden mit einem Spannungsmessgerät verbunden sind. Beide Spulenachsen sind zueinander parallel.

- 2.1. Erläutern Sie jeweils ausführlich, welche Wirkungen folgende zwei Experimente in der Induktionsspule hervorrufen:
- Durch die Feldspule fließt ein sinusförmiger Wechselstrom.
  - In der Feldspule fließt ein Gleichstrom konstanter Stärke, während die Induktionsspule in Richtung ihrer Spulenachse im Inneren der Feldspule hin und her bewegt wird.
- 2.2. Durch die Feldspule fließt nun ein Gleichstrom der Stärke  $I = 3 \text{ A}$ .
- Berechnen Sie die magnetische Flussdichte  $B$  im Inneren der Feldspule.
  - Die Feldspule wird innerhalb von 0,5 Sekunden auf die dreifache Länge auseinander gezogen, wobei die Induktionsspule ihre Form und Position beibehält. Begründen Sie ausführlich, weshalb in der Induktionsspule eine Spannung induziert wird. Berechnen Sie den Wert dieser Induktionsspannung.

2.1. a)  $I(t) \sim \sin(\omega t) \Rightarrow \dot{I} \sim \omega \cos(\omega t)$  damit  $U_{\text{ind}}$

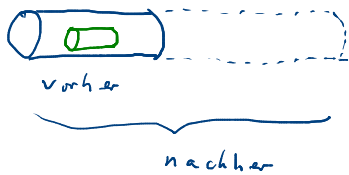
$$U_{\text{ind}} = -n_{\text{ind}} A_{\text{ind}} \frac{\Delta B}{\Delta t} = -n_{\text{ind}} A_{\text{ind}} \dot{B}$$

$$\frac{dB}{dt} = \mu_0 \frac{n_F dI}{l_F} \sim \omega \cdot \cos(\omega t)$$

b)   $\dot{B} = 0 \wedge \dot{A} = 0 \Rightarrow \dot{\phi} = 0 \Rightarrow U_{\text{ind}} = 0$

2.2. a)  $I = 3 \text{ A}$ , ges  $B (= B_F)$

$$= \mu_0 \frac{n_F}{l_F} I = 15 \text{ mT}$$

b) 

$$\Delta B = \mu_0 \cdot n_F \cdot I \left( \frac{1}{l_F} - \frac{1}{3l_F} \right)$$

$$= \mu_0 \frac{n_F}{l_F} I \left( 1 - \frac{1}{3} \right)$$

$$= \mu_0 \frac{n_F}{l_F} I \cdot \frac{2}{3}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 15 \text{ mT}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\Rightarrow U_{\text{ind}} = -n_{\text{ind}} A_{\text{ind}} \cdot 20 \text{ mT/s}$$

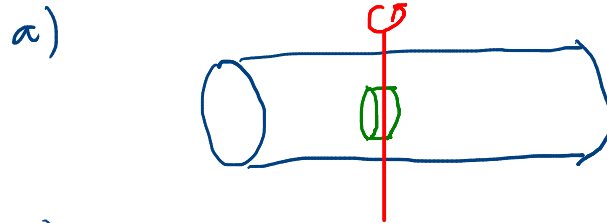
$$= 18 \text{ mV}$$

2.3. Die Feldspule habe nun wieder ihre ursprüngliche Länge und es fließt weiterhin ein Gleichstrom der Stärke  $I=3\text{ A}$  durch sie. Die Induktionsspule wird nun mit konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht, sodass sich die Spule zweimal pro Sekunde um eine Achse senkrecht zu den B-Feldlinien dreht ( $f = 2\text{ Hz}$ ). Die von Feldlinien durchsetzte Fläche lässt sich berechnen mit dem Ausdruck  $A(t) = A_{\text{ind}} \cdot \cos(\omega t)$ .

a) Zeigen Sie, ausgehend vom Induktionsgesetz, dass für die induzierte Spannung gilt:

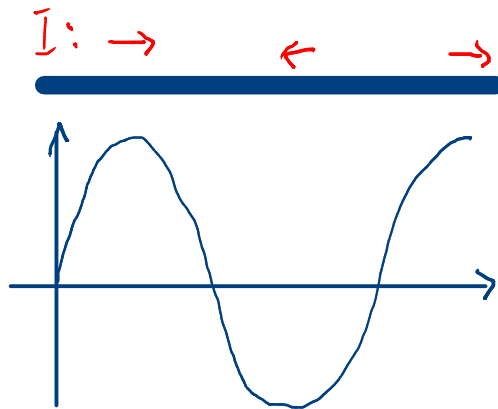
$$U_{\text{ind}} = n_{\text{ind}} \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_F}{l_F} \cdot I \cdot A_{\text{ind}} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

b) Berechnen Sie die maximale Spannung  $\hat{U}_{\text{ind}}$  („Scheitelspannung“).



$U_{\text{ind}} : \text{S. früheres TB}$

b)  $\sin$  wird max. 1  $\Rightarrow \hat{U}_{\text{ind}} = n_{\text{ind}} \cdot B \cdot A_{\text{ind}} \cdot \omega$



$$= 300 \cdot 15\text{ mT} \cdot 30,25\text{ cm}^2 \cdot 2\pi \cdot 2\text{ Hz}$$

$$= 170\text{ mV}$$

# Der elektrische Schwingkreis

## Herleitung der Thomsonschen Schwingungsgleichung

In einer Reihenschaltung ist die Summe aller Verbraucherspannungen gleich der Spannung der Quelle:

Allgemein gilt:

In einem Umlauf ("Masche") einer elektrischen Schaltung (eines "elektrischen Netzwerkes") ist die Summe aller Spannungen Null, wobei die Spannung der Quelle negativ gezählt wird.

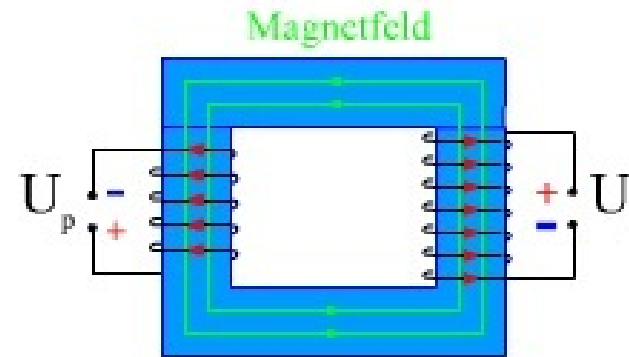
Maschensatz (Maschenregel) – 2. Kirchhoffsches Gesetz

Für den Schwingkreis heißt das:

<-- 20.6.2012

## Der Transformator

Ein in der Primärspule fließender Wechselstrom  $I(t)$  ruft in beiden Spulen den gleichen zeitlich veränderlichen magnetischen Fluss hervor. Für die Spannungen gilt:



Das Verhältnis der Spannungen liefert das sog. Transformatorgesetz:

Anwendungsbeispiele:

Spannungsverstärkung

Nimmt man an, dass die Leistung im Primärkreis vollständig auf den Sekundärkreis übertragen wird, ergibt sich für das Verhältnis der Stromstärken:

Stromverstärkung